

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 200327026

UDC _____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

海洋异养鞭毛虫摄食与生长的实验生态学研究

Experimental Ecological Study on Feeding and Growth of
Marine Heterotrophic Flagellates

潘 科

指导教师姓名: 黄 凌 风 副教授

专 业 名 称: 海 洋 生 物 学

论文提交日期: 2 0 0 6 年 8 月

论文答辩时间: 2 0 0 6 年 8 月

学位授予日期: 2 0 0 6 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 8 月

海洋异养鞭毛虫摄食与生长的实验生态学研究

潘科

指导教师

黄凌风副教授

厦门大学

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ☒ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

目录

中文摘要	i
Abstract	iii
第一章 前言	1
1 异养鞭毛虫及其研究意义	1
1.1 异养鞭毛虫的定义和主要营养类群	1
1.2 异养鞭毛虫的生态类群及其分布	3
2 国际、国内的研究动态	6
2.1 异养鞭毛虫对不同生物类群的摄食及其影响	6
2.2 异养鞭毛虫的摄食对营养盐再生的作用	8
2.3 异养鞭毛虫在微食物环能流、物流中的作用	9
2.4 异养鞭毛虫的生长	10
2.5 异养鞭毛虫生态学研究的发展趋向	11
3 本研究的目的是和意义	12
第二章 异养鞭毛虫的培养与分离纯化	14
2.1 异养鞭毛虫的培养	14
2.2 异养鞭毛虫的分离纯化常用的方法	15
2.3 本研究改良后的方法	16
2.4 已经分离与纯培养的种类	19
第三章 异养鞭毛虫的摄食	22
3.1 异养鞭毛虫摄食研究方法的比较	22
3.2 材料与方法	24
3.2.1 实验采用的异养鞭毛虫	24
3.2.2 细菌的分离纯化和筛选	24
3.2.3 异养鞭毛虫的摄食实验（抗生素法）	24
3.2.4 异养鞭毛虫的摄食实验（荧光细菌标记法）	27
3.3 结果	29
3.3.1 异养鞭毛虫摄食实验（抗生素法）	29
3.3.2 异养鞭毛虫摄食实验（荧光标记细菌法）	30
3.4 讨论	33
第四章 海洋异养鞭毛虫的生长特征与食物、温度的关系	37
4.1 材料与方法	37
4.1.1 实验对象	37
4.1.2 不同起始食物浓度对海洋异养鞭毛虫生长的影响	37
4.1.3 不同温度下海洋异养鞭毛虫的生长特征	37
4.1.4 戊二醛对异养鞭毛虫（XM-1）体积和数量的影响	38
4.1.5 计算	38
4.2 结果	43

4.2.1 戊二醛对异养鞭毛虫 (XM-1) 体积和数量的影响	43
4.2.2 不同起始食物浓度对海洋异养鞭毛虫生长的影响	43
4.2.2 不同温度对海洋异养鞭毛虫生长的影响	47
4.3 讨论	49
4.3.1 固定剂对异养鞭毛虫固定后的体积和数量的影响	49
4.3.2 不同起始食物浓度对海洋异养鞭毛虫生长的影响	51
4.3.3 不同温度对海洋异养鞭毛虫生长的影响	51
4.4 本研究存在的问题与不足	53
第五章 海洋异养鞭毛虫总生长效率的估算	55
5.1 材料与方法	56
5.1.1 测定对象	56
5.1.2 细菌碳含量的测定	56
5.1.3 鞭毛虫单位体积含碳量的测定	57
5.2 结果与讨论	57
第六章 结语	62
参考文献	64
图版	74
附表	91
致谢	102

海洋异养鞭毛虫摄食与生长的实验生态学研究

中文摘要

关键词：异养鞭毛虫 摄食 生长 分离与培养 总生长效率

异养鞭毛虫(heterotrophic flagellates)是一类营自由生活的原生动动物，它们的运动和摄食主要是通过鞭毛来完成，即使具有质粒，也主要是通过异养的方式来获取食物或者能量。该生物类群种类多样性高，具有个体小、数量丰富、分布广泛和代谢速率快的特点。海洋异养鞭毛虫是海洋微微型自养生物、异养细菌和部分有机碎屑的初级消费者，它们在海洋生态系统的物质循环、能量流动和营养盐再生过程中发挥着重要的作用，与海区富营养化有密切的关系。海洋异养鞭毛虫的生物学和生态学特征是当前海洋生态学研究领域中的一个热点，同时也是我国在海洋微食物环研究中相对薄弱的环节。

异养鞭毛虫的培养、分离与纯化工作是深入研究该生物类群的重要前提。本研究在毛细管分离法的基础上进行改进，形成微液滴分离法。该方法的优点在于易于掌握和操作，分离的效果也较好。利用该法，本研究已成功地从不同地点的海水样品中分离出 10 种海洋异养鞭毛虫，其中包括一些接近 $3\mu\text{m}$ 的种类，并对它们的形态特征和生活习性作出描述。但由于分类资料不全和分类经验不足，目前还没能对它们作出确切的种类鉴定。

本研究用抗生素抑制法和荧光标记细菌（FLB）示踪法对一种异养鞭毛虫（XM-1）进行研究。前一方法中，青霉素能有效抑制实验所采用的细菌，在两种食物浓度下，XM-1 的清滤率分别为 4.56 nl/ind/h 和 2.83 nl/ind/h ，摄食率为 $6.40 \text{ bacteria/ind/h}$ 和 $8.70 \text{ bacteria/ind/h}$ 。荧光细菌示踪法的研究结果表明，XM-1 对 FLB 的摄食率分别为 0.28, 0.43, 0.49 FLB/ind/min，清滤率分别为 0.23, 0.23, 0.14 nl/ind/min。随着细菌初始浓度的提高（主要是 FLB 浓度的提高），在相同时间内，平均每个异养鞭毛虫体内的 FLB 数量增加，食物浓度在 $3.8 \times 10^6 \text{ cell/ml}$ 时，可能接近鞭毛虫 XM-1 的饱和摄食浓度。

戊二醛对异养鞭毛虫体积和数量有较大影响。从体积上来看，在戊二醛的作

用下，细胞的收缩非常明显。鞭毛虫平均单个细胞体积下降超过 50%。固定前，平均每个细胞的体积范围为 $29.4\sim77.0\mu\text{m}^3$ 。固定后，平均每个细胞的体积范围下降为 $12.9\sim32.8\mu\text{m}^3$ ，平均约为 $22.6\mu\text{m}^3$ ，固定后的平均体积约为固定前的 44%。不同生长阶段的异养鞭毛虫，其体积对固定剂的敏感程度基本相同。从数量上来看，不同生长阶段的鞭毛虫对固定剂的敏感程度则有所不同。固定剂对处于生长期的鞭毛虫的细胞数量影响较大，而对处于生长平缓期的鞭毛虫的细胞数量对固定剂的影响较小。

食物浓度和温度对异养鞭毛虫的生长率影响很大，在高、中、低三个不同起始食物浓度下，异养鞭毛虫的平均加倍时间分别为 10.0 h、12.7 h、18.9h。在不同温度下，两种鞭毛虫表现出了不同的生长特征，不同的生长阶段鞭毛虫的体积与生长阶段、温度有密切的关系，一定范围内，温度越高，异养鞭毛虫的生长率越高，不同生长阶段鞭毛虫的体积差异可以达到 1 倍。

本研究尝试用库尔特颗粒计数器和Multi N/C3000 TOC分析仪对一种异养鞭毛虫和细菌的单位体积含碳量进行测定。测定结果为细菌的单位体积含碳量为 $268\text{fg C}/\mu\text{m}^3$ 、 69.5 fg C/cell ；鞭毛虫的单位体积-碳含量为 $101.8\text{ fg C}/\mu\text{m}^3$ ，并推算出固定后鞭毛虫的单位体积含碳量约为 $231.4\text{ fg C}/\mu\text{m}^3$ 。由于测定的细菌含碳量可能偏低，造成XM-1 的总生长效率的估算结果高达 75~94%。如果参照相关研究的细菌碳含量，则XM-1 总生长效率为 35%~45%，这个结果与大多数研究结果相近。

Abstract

Keywords: heterotrophic flagellates, feeding, growth, isolation, gross efficiency

Heterotrophic flagellates are of free-living protists moving and/or feeding by the use of flagella and feeding exclusively by heterotrophic means or, if with plastids, then also capable of ingesting particles. This group is characteristic by having small cell volume, high metabolic rate, and high diversity in terms of species. Heterotrophic flagellates are common and abundant in most natural habitats. They are consumers of pico-phytoplankton, hetero-bacteria and some organic detritus in marine environment, and thus play an important role in cycle of matter and energy flow. Moreover, their ecological features are closely related to the eutrophication process in seawater. The biological and ecological importance of heterotrophic flagellates is one of highlight field in the study of microbial ecology.

The culture, isolation and purification of heterotrophic flagellates are the basis of other in-depth study. Current methods for isolation of heterotrophic flagellates include serial dilution method, dipping-wire separation method, micromanipulatory separation method. A modified method on the basis of micromanipulatory separation method was adopted in our study, which had the advantage of being easy to master and handle. By using this modified method, 10 species of heterotrophic flagellate, some of which has a proximate diameter of 3 μ m, were isolated from seawater sample collected from different sites. The morphological and life style of these flagellates are described here. However, identification of these species has not been carried out because of the shortage of relevant classification information.

The feeding of heterotrophic flagellates plays an important role in microbial process. Many approaches are employed in *in situ* and laboratory analysis of the grazing rate and each has its own advantages and disadvantages. Metabolic inhibitor method and fluorescent labeled bacteria (FLB) method were used in our study. In the former study, penicillin was employed and strongly inhibited the growth of bacteria. The clearance rate of heterotrophic flagellates (XM-1) under two food concentration were 4.56 nl/ind/h and 2.83 nl/ind/h, the grazing rate were 6.40 bacteria/ind/h and

8.70 bacteria/ind/h, respectively. In the fluorescent labeled bacteria method, with the increasing initial food concentration, the grazing rate of XM-1 were 0.28, 0.43, 0.49 FLB/ind/min, the clearance rate were 0.23, 0.23, 0.14nl/ind/min. The average number of FLB in each flagellates increased with the food concentration. The result showed that the saturate-grazing food concentration of XM-1 might close to 3.8×10^6 cell/ml.

Glutaraldehyde can effectively influence the number and volume of heterotrophic flagellates in preserved sample. In respect to volume, Glutaraldehyde can cause shrinkage of cells. The average volume of each cell can reduce more than 50% after fixation. The extent to which glutaraldehyde influence the cell did not vary much between cells in different growth stage. Glutaraldehyde can also cause cell lysis. The cells in exponential stage were more sensitive to fixation, while the stationary growth cells.

The growth rate of heterotrophic flagellate varies under different food concentration. Under the high, middle, and low food concentration, the doubling time of XM-1 was 10.0 h, 12.7 h, 18.9h, respectively. Heterotrophic flagellates have different growth style under different temperature. The difference of cell volume in different growth stage can exceed more than 100%. Growth rate raised when temperature increase.

Multi N/C3000 TOC analyser was used to analysed the carbon density of heterotrophic and bacteria. The carbon density of flagellate and bacteria after fixation with 0.5%(final concentration) glutaraldehyde was $231.4 \text{ fg C}/\mu\text{m}^3$ and $268 \text{ fg C}/\mu\text{m}^3$, respectively. The carbon density of bacteria may be low, which caused a result of high gross growth efficiency of 75%~94%. The gross growth efficiency can be reduced to 35~45% if a higher carbon density of bacteria was cited.

第一章 前言

1 异养鞭毛虫及其研究意义

1.1 异养鞭毛虫的定义和主要营养类群

1981 年, Williams 就指出原生动物和细菌在海洋生态系统的物质循环和能量流动中扮演重要的角色(Williams 1981)^[1]。Azam(1983)提出了微食物环(microbial loop)的概念, 强调微型生物在食物链中的重要作用^[2]。在其后的二十多年中, 随着研究技术和方法的进步, 人们对海洋微食物环的结构与功能有了更深刻的认识, 其中, 一个独特的生物群体——异养鞭毛虫^a(heterotrophic flagellates)更是备受海洋生态学家的关注。

鞭毛虫是一类具有鞭毛并用其进行运动或者摄食的单细胞原生动物。从营养方式来区分, 鞭毛虫包括营光合作

用的植物性鞭毛虫(phytoflagellate, 通常也称为鞭毛藻, 包括自养与混合营养类型)和无光合作用能力的异养鞭毛虫(heterotrophic flagellate)。植物性的鞭毛虫的主要类群有隐藻(Cryptophyceae), 甲藻(Dinophyceae), 针胞藻(Rahidophyceae)、硅鞭藻(Dictyochophyceae)、定鞭藻(Prymnesiophyceae)、金藻(Chrysophyceae)、眼藻(Euglenophyceae)、青绿藻(Prasinophyceae)和绿藻(Chlorophyceae)^[3]。

然而, 异养鞭毛虫并不等同于以前所理解的动鞭亚纲(Zoomastigina)所包含的鞭毛虫, Patterson 指出, 用动鞭亚纲指代异养鞭毛虫是不准确的, 因为^[4]:

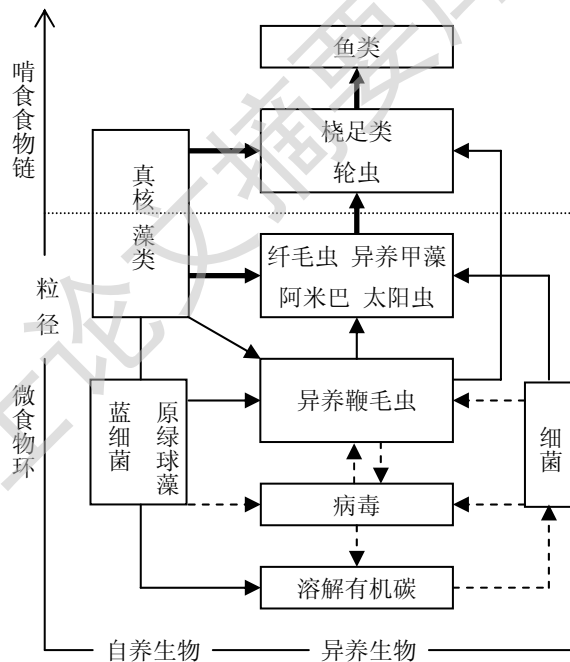


图 1.1 异养鞭毛虫在食物链中的作用 (—→ 表示捕食关系; —→ 为捕食食物链; ---→ 表示“病毒食物环”)

^a 本研究所指的异养鞭毛虫只指自由生活的种类, 寄生生活的种类不包括在内。

- (1) 许多已经报道过的分类阶元被迫排除;
- (2) 单单用一个词来代表整个类群似乎表明它们之间存在的密切的亲缘关系, 但其实不然。
- (3) 我们发现许多异养和混合营养的种类被归类到一个同等的群体里——如 *Phytomastigoporea*。

目前我们对异养鞭毛虫并没有一个严格的分类学定义。*Patterson*(1991)则提出了一个适用性的定义——异养鞭毛虫是一类营自由生活的原生动物, 它们的运动和摄食主要是通过鞭毛来完成, 即使具有质体, 也主要是通过异养的方式来获取食物或者能量^[4]。*Patterson*将异养鞭毛虫分为八大类群^[4], 并对它们的特征作出归纳, 这些特征对我们区分异养鞭毛虫的种类具有重要的意义:

(1) **Archezoa (原始虫)** 这个类群表现出了一些早期真核生物的过渡特征。它们没有线粒体, 也缺少一些其它真核细胞器, 例如半珠状高尔基体。大约有 12 个属, 大多数都是泥生目和双滴虫目。一些种类的个体较大, 它们通常生存在缺氧或者微缺氧的环境底下。

(2) **Bodonids (波豆虫)** 这一类群的个体通常都很小 (小于 10 μ m), 最明显的特征是在线粒体中存在动基体 (DNA 团)。大多数都有双鞭毛, 鞭毛会在体表波动, 有不连续的胞口。波豆虫分布在淡水、海水和土壤中, 与眼虫有亲缘关系。

(3) **Euglenids (眼虫)** 眼虫有 25 个属, 它们中既有营渗透营养的, 又有肉食性的。眼虫有一种基于外皮带(cortical strips)的细胞骨骼, 即许多种类细胞表面有明显的表面斑纹和蠕动运动。这种细胞骨骼能阻止消化中的食物颗粒穿过细胞表面。因此, 异养的种类就有了一个“可移动的口”。异养的眼虫可分为两个生态类群: 游泳的种类——其前端的鞭毛不断地摆动, 主要营渗透营养生活; 滑行的种类——营捕食生活。后者主要栖居在底层或者碎屑上, 它们用一条或者两条鞭毛附着在底质上。

(4) **Cryptomonads (隐滴虫)** 这个类群的体形基本保持不变, 它的两条鞭毛从前端的凹陷处伸出。大部分的种类都有质粒, 而且不是异养的。隐滴虫属只有一些的种类是异养的, 但是这些种类广泛分布在各种环境中, 是常见种。它们的细胞表面由一种称做“周质体”(periplast)的细胞骨骼支持着, 能够让食物颗粒穿过细胞表膜。

(5) **Choanoflagellates (领鞭毛虫)** 领鞭毛虫是能利用不同的方式来摄食浮游细菌的两类异养鞭毛虫之一。它们的领由一圈伪足组成,捕食的时候利用一根鞭毛在中来激起水流,通过领来过滤悬浮颗粒物——主要是细菌。这个类群的种类很多,它们之间的体形略有不同。属间和种间主要依靠细胞覆盖物的形态和组成来区分,由细胞分泌的硅质外壳的形状或者整个群体的形状来区分。

(6) **Heterokont (异鞭虫)** 这个类群是另外一个滤食性群体,大部分都有两根鞭毛,每一根鞭毛都有附生的次生鞭毛,这个简单的结构在摆动时能让水流直接流向它们的身体,然后捕获那些与它们身体接触到颗粒。这个类群大概包含了30个属。

(7) **Dinoflagellate (腰鞭毛虫)** 自养的类群较多,但是它们之中也包含了不少异养的种类。腰鞭毛虫种类之间在结构上大相径庭。大多数的腰鞭毛虫与其他类群的鞭毛虫不一样,它们的腰鞭核(dinokaryotic nucleus)很明显,里面的染色体在整个细胞分裂间期中都能看到。腰鞭毛虫大约有70个属不具叶绿体,它们之间不同的捕食机制现已清楚。相信在未来的研究中,特别是在那些更细小的个体中,会发现更多的异养种类,甚至是更多的属。

(8) **分类地位不明确种类** 已经被报道过的鞭毛虫中,超过一百个属的种类还在我们了解的范围之外,人们只能猜测它们之间的亲缘关系。

由于异养鞭毛虫的系统分类目前仍然存在巨大争议,目前大多数生态学家从生态学的意义上将异养鞭毛虫作为一个同质性的功能类群进行研究。

1.2 异养鞭毛虫的生态类群及其分布

根据生境类型,异养鞭毛虫可以分为浮游性(planktonic flagellate)、底栖性(benthic flagellate)和颗粒附着性(particle-attached flagellate)三个类群。

浮游性异养鞭毛虫是海洋生态系统中浮游生物群落的重要成员,同时又是海洋微食物环的重要环节之一,主要由食细菌者、植食者、碎屑取食者、营渗透营养者构成,个体大小从 $<2\mu\text{m}$ 到 $>200\mu\text{m}$,但大部分个体在 $2\sim 20\mu\text{m}$ 之间。在绝大多数水域生态系统中,其密度为 $10^2\sim 10^5\text{ cell}\cdot\text{ml}^{-1[5]}$ (见表1)。一般而言,浮游性异养鞭毛虫的个体密度从贫营养海区到沿岸海区递增,随离岸距离的增加而递减(Sherr, 1983; 黄凌风 2003; 潘科 2005)^[6,7,8]。至于垂直分布上, Fenchel(1982)

的研究发现,虽然海洋表层的异养鞭毛虫丰度较高,但是并没有明显的垂直分布规律^[9]。

表 1.1 不同海区异养鞭毛虫丰度比较

异养鞭毛虫数量 (10 ³ cells/ml)	地点描述	参考文献
0.1-1.3	Sargasso Sea	Davis and Sieburth (1982) ^[10]
0.6-2.8	Gulf Stream	Davis and Sieburth (1982) ^[10]
0.3-3.2	Georgia Coast, USA	Sherr <i>et al.</i> (1984) ^[11]
1-10	Japan Sea	Caron <i>et al.</i> (1986) ^[12]
0.6-1.2	Red Sea	Weisse (1989) ^[13]
8-85	Long Island estuaries, USA	Caron <i>et al.</i> (1989) ^[14]
2-4.6	North Atlantic	Verity <i>et al.</i> (1993) ^[15]
0.02-3.9	Vienna, Austria	Wieltschnig <i>et al.</i> (1999) ^[16]
0.04-12.6	Huanghai Sea & Donghai Sea	Huang <i>et al.</i> (2003) ^[7] ; 潘科 (2005) ^[8]

然而,黄凌风等人指出,温跃层的存在可能会影响到鞭毛虫的垂直分布。因为跃层的存在形成了无形的屏障,使海水的垂直混合受阻,水华期形成的大量微小有机碎屑和生物颗粒堆积在温跃层底部,为异养鞭毛虫提供了丰富的食物或营养条件,致使鞭毛虫在跃层附近大量繁殖或聚集形成高密度的区域^[7]。Nielsen(1993)在调查中发现,异养细菌、异养鞭毛虫和纤毛虫的垂直分布与叶绿素的垂直分布有密切关系^[17]。Patterson(1993)在北大西洋的研究中指出,异养鞭毛虫的种类和丰度随着深度的增加而递减,他们推测这是由于食物和压力造成的^[18]。

无论是在淡水环境还是海洋中,我们对底栖鞭毛虫的研究比浮游鞭毛虫远远少得多。这并不奇怪,毕竟从沉积物中分离或者辨认鞭毛虫更为困难,底栖环境中生物关系也更为复杂。这里的鞭毛虫的数量不但非常可观,而且也扮演着重要的角色。在丹麦Wadden海的Rejsby Marsk区域, Larsen(1987)对 28 个种类的鞭毛虫进行了鉴定,其中 26 个种类是异养的。最为常见的属是*Anisonema*, *Metanema*, *Petalomonas* 和 *Urceolus*。它们中并没有哪种只生活在单一的底质环境中,而且大部分的底栖眼虫并没有在浮游样品中出现,表明存在一个特别的底栖区系^[19]。从底栖种类生活的环境进行划分,底栖鞭毛虫还可以进一步分为隙间种类(生活在间隙水和颗粒物界面之间)和在间隙水中自由游泳的种类。目前认为,沉积物中鞭毛虫(>20 μ m)的丰度为 10²~10⁵cells/cm³^[4, 20]。大部分研究表明鞭毛虫的丰度

随着沉积物的深度增加而递减^[4]。Bak和Nieuwland(1989)则在Wadden Sea的潮间带上记录到了很高的鞭毛虫丰度： $50\sim 300\times 10^3$ cells/cm³。夏季鞭毛虫的丰度比冬季的高，而且大部分的鞭毛虫都是集中在沉积物表层^[21]。

颗粒物附着性的异养鞭毛虫的生态学作用近年来受到科学家的关注。在浮游生态系统中，悬浮碎屑凝聚物（通常被称为marine snow)为异养原生动物提供了生活的微环境。这些碎屑的大小从几微米到几厘米，多数栖息着丰富的细菌、蓝细菌和光合自养真核生物，因此对于许多种类的原生动物来说，这里集中了丰富的食物，是十分理想的觅食和栖息地点。将这类鞭毛虫归成一类是因为它们的行为与底栖种类相似，它们的游泳能力较弱，对浮游生活的适应性较差，水体中的悬浮颗粒为它们提供了一个“流动的底栖平台”，可以说，它们是生活在浮游群落中的底栖类群。悬浮颗粒物的存在使水体环境变得更加多样化，为各种微型浮游生物提供了不同的微环境。Artolozaga *et al.*(2000)将这些微环境分为三个层次：颗粒上（内部或者表面）、颗粒-水体界面（离颗粒边缘大约 50 μ m的区域）和颗粒周围的水体。他们发现，处于这三个微环境中的异养鞭毛虫的种类是不一样的，颗粒上异养鞭毛虫的浓缩系数为 $0.2\times 10^3\sim 1.0\times 10^3$ 。不同的异养鞭毛虫趋向于挑选对它们有利的微环境，有一些鞭毛虫即使是在悬浮颗粒物很丰富的环境中，也仍然留在水体里面营浮游生活，而有的则是趋向于附着在颗粒表面。一些游泳能力很强的种类，例如*Oxyrrhis* sp.，喜欢活跃在颗粒物-水体界面，作者推论可能是因为这些鞭毛虫能察觉到颗粒物周围水体中化学物质的变化^[22]。然而，在实际的调查研究中，特别是野外调查中，颗粒物附着性类群实际是包含于浮游类群中的。

异养鞭毛虫是一个种类多样性非常高的类群，其多样性远远超过了已被记录和描述的种类^[4]。它们在生态位分化上发挥得淋漓尽致。其分布极为广泛，从近岸到大洋海区，从热带区域到极地地区，从温带海域到高温高盐的极端环境，几乎都有它们的踪迹。虽然异养鞭毛虫个体微小，但是其数量丰富，而且具有很高的生长潜力。它们的世代时间短，每天细胞分裂可达数次，代谢速率非常快，同时又是海洋微微型自养生物、异养细菌和部分有机碎屑的初级消费者，这就决定了它们在海洋生态系统中的能量传递、物质循环和营养盐再生过程中的重要作用，而异养鞭毛虫的摄食正是这一过程的关键环节，这个类群的摄食生态学（营

养动力学) 已是海洋微型生物生态过程研究中的一个热点领域。近年来, 有研究表明, 异养鞭毛虫数量与海区的富营养化水平有密切的关系^[23], 探讨和研究异养鞭毛虫的数量分布、种群动态、生态作用已经成为海洋环境科学工作者值得关注的一个领域。

2 国际、国内的研究动态

2.1 异养鞭毛虫对不同生物类群的摄食及其影响

海洋异养鞭毛虫的摄食对象主要包括微微型自养生物(如蓝细菌、原绿球藻)、异养细菌、其他更细小的鞭毛虫、以及有机碎屑(如图 1.1)。异养鞭毛虫的摄食不但会影响和控制这些生物类群的数量, 而且会对它们的种类组成、形态结构和生理状态产生显著的影响(Hahn *et al.* 1999; Jürgens *et al.* 1999; Šimek *et al.* 1997; Pernthaler *et al.* 2001)^[24, 25, 26, 27, 28]。

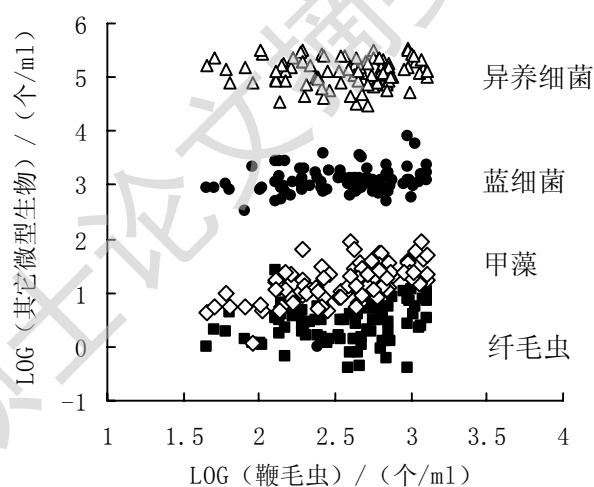


图 1.2 黄海海洋鞭毛虫与异养细菌、蓝细菌、甲藻和纤毛虫的数量关系^[7]

目前的研究表明, 异养鞭毛虫是海洋细菌的主要摄食者, 对调控细菌的生物量具有重要作用^[29, 30]。在海洋中, 虽然细菌的繁殖生长能力很强, 但是自然海区中的细菌密度却保持相对稳定, 除了温度、环境条件(bottom-up control)、纤毛虫、放射虫、阿米巴等原生动物的摄食(top-down control)、病毒分解^[31, 32]和其他物理过程(如颗粒物沉降)外, 异养鞭毛虫的摄食也是造成细菌死亡的重要因素。大部分的异养鞭毛虫都小于 $5\mu\text{m}$ (Sherr & Sherr 1989)^[33], 微小的个体和多种的摄食方式(如主动捕食、随机捕食、滤食)使它们比其他大型后生动物(如桡足类)能更有效地摄食细菌甚至更小的颗粒物。Christaki(2001)报道异养微型鞭毛虫能摄食 45%~87% 的细菌生产量, 其中超过 90% 的细菌是由 $<3\mu\text{m}$ 的异养鞭毛虫摄食的^[34]。Fenchel(1982)在丹麦的研究表明, 细菌和异养鞭毛虫的数量变动是一致

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库